This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

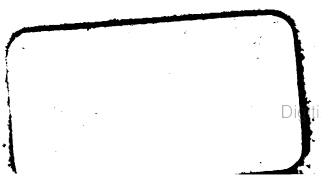
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

GENERAL LIBRARY
OF
UNIVERSITY OF MICHIGAN

PRESENTED BY
Prof. Hinsdale
Nov. 11 1896 7.



Digitized by Google

Social

QP
479
.S55

Digitized by Google

Digitized by Google

Prof. Hinsdale.
With Compliments of the Writer.
From Prof Hinsdale
Nov. 11 '97

Ueber das

Purkinje'sche Phänomen

im

Centrum der Netzhaut.

Von

Frederic David Sherman.

Mit 2 Figuren im Text.

(Separat-Abdruck aus: Wundt, Philosophische Studien. XIII. Band, 3. Heft.)

Leipzig

Wilhelm Engelmann

1897.

Digitized by Google

Digitized by Google

Ueber das Purkinje'sche Phänomen im Centrum der Netzhaut.

Von

Frederic David Sherman.

Mit 2 Figuren im Text.

Digitized by Google

(Separatabdruck aus Wundt, Philosophische Studien. XIII. Bd. 3. Heft.)

I.

Die Frage, ob das Purkinje'sche Phänomen im Centrum der Netzhaut vorhanden ist oder nicht, ist eine verhältnissmäßig neue. In den früheren Untersuchungen über das Phänomen von Purkinje an (1825)[1]) bis in die neueste Zeit ist das Centrum der Netzhaut nicht besonders in Betracht gezogen worden. Selbst König, der so eingehende Experimente darüber anstellte[2]), erhob nicht einmal die Frage, ob ein Unterschied zwischen streng centraler und excentrischer Fixation verschiedene Ergebnisse herbeiführen könne. Von seiner Untersuchung über den menschlichen Sehpurpur dagegen ausgehend[3]) formulirt er eine Hypothese, welche eine Berücksichtigung der Fovea verlangt, nämlich die, dass durch erstmalige Zersetzung des Sehpurpurs Grauempfindung, und durch weiter fortschreitende Blauempfindung in Folge der Einwirkung auf die Außenglieder der Stäbchen entstehe. Da nun die Fovea weder Stäbchen noch Sehpurpur besitzt, so können Lichtstrahlen, welche genau auf die Fovea fallen, nach König keine Grau- oder Blauempfindung hervorrufen. Wäre dies bewiesen, so könnte demnach selbstverständlich kein Purkinje'sches Phänomen im Cen-

---

1) Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne, Bd. II, 1825. Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht, Berlin 1825.

2) Helmholtz-Festschrift 1891. S. 309.

3) König, Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. Sitzungsbericht der Berliner Akademie 1894. 1. S. 577 ff.

Digitized by Google

trum gesehen werden. Um dies zu untersuchen, benutzte König einen chromatischen erleuchteten Punkt von mäßiger Intensität und setzte letztere dann in nicht zu langsamem Tempo so weit herab, dass der Punkt gerade verschwand. Er sagt: »Hierbei wird man bemerken, dass der Punkt bis zum letzten Augenblick seiner Sichtbarkeit farbig geblieben ist.« Bei bewegtem Blick tauchte Roth nicht mehr auf, aber Blau erschien, wenn das Bild außerhalb der Fovea war, erst blau und bei weiterer Verminderung der Intensität farblos[1]). Diese Verminderung geschah wahrscheinlich bei dem Gebrauch des Helmholtz'schen Farbenmischapparats durch Drehung des Nicol'schen Prismas, und da sie »in nicht zu langsamem Tempo« bewirkt wurde, so erhebt sich das Bedenken, ob die Intensitätsänderungen auch genügend allmählich stattfanden. Dass König diese Fehlerquelle nicht in Betracht zog, ist merkwürdig, weil er selbst einmal den Einwand von zu großen »Intensitätsintervallen« gegen Brodhun's Versuche über das Purkinje'sche Phänomen[2]) macht[3]). Die Ergebnisse König's hat Hering bezweifelt, indem er behauptet, dass die Fovea »eminent farbentüchtig«[4]) sei und im Centrum verschiedene Grade von Grau sicher gesehen werden könnten[5]).

Neuerdings haben Parinaud[6]) in Frankreich und von Kries[7]) in Deutschland unabhängig von einander das Fehlen des Purkinjeschen Phänomens im Centrum behauptet. Beide stellten diese Behauptung im Zusammenhang mit ähnlichen Theorien über die »Farbenblindheit« der Stäbchen auf. Bei geringer Lichtstärke und dunkeladaptirtem Auge haben nach ihnen die kurzwelligen Lichter größeren

---

1) König, Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. Sitzungsbericht der Berliner Academie 1894. 1. S. 318.

2) Beiträge zur Farbenlehre. Inaugural-Dissertation. Berlin 1887.

3) König, Helmholtz-Festschrift 1891, S. 318.

4) Hering, Ueber angebliche Blaublindheit der Fovea centralis. Pflüger's Archiv 59, S. 409.

5) Ebenda S. 413.

6) Parinaud, La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales. Revue scientifique IV, 3. 1895. S. 709; II. S. 134. Annales d'oculist. CXII, S. 228.

7) von Kries, I. Ueber die Function der Netzhautstäbchen. Zeitschrift für Psychol. u. Physiol. d. S. Bd. IX, S. 81—123. II. Ueber die functionellen Verschiedenheiten des Netzhaut-Centrums und der Nachbartheile. Archiv f. Ophthalm. 42. 3. S. 95—133.

Digitized by Google

Effect auf die Stäbchen[1]), und dieser Effect zeigt sich in einem Hellerwerden der nämlichen Farben. Roth hat z. B. einen kaum merklichen Einfluss auf die Stäbchen, und Blau, nächst Grün, den größten. Die Folge davon ist, dass in den extramacularen Zonen der Netzhaut, wo Zapfen und Stäbchen zusammen gefunden werden, das Purkinje'sche Phänomen deutlich hervortreten, aber dagegen im Centrum, wo die Abwesenheit von Stäbchen keinen solchen Effect erlaubt, fehlen müsste. In einem Referat Parinaud's[2]) wird man auf einen Artikel[3]) verwiesen, wo seine Experimente über das Phänomen im Centrum beschrieben werden sollen; aber leider fand ich keine Beschreibung seiner Methode und Versuchsanordnung.

von Kries hatte in seinen ersten Versuchen als Lichtquelle einen von diffusem Tageslicht beleuchteten weißen Carton, welcher vor dem Fenster des Dunkelzimmers aufgestellt war und Licht durch einen verticalen Spalt auf einen 150 cm entfernten Spektralapparat reflectirte. Das Collimatorrohr des Spektralapparates wurde mit einer Linse von 150 cm Brennweite versehen, das Fernrohr dagegen besaß ein Objectiv von 40 cm Brennweite, und statt des Oculars wurde eine Kapsel mit einem rechteckigen Spalt von 4 mm Höhe und 0,8 mm Breite in das Rohr eingeschoben. Das hinter dem Spalt beobachtende Auge sieht die Linse mit derjenigen Farbe erleuchtet, welche der Spalt aus dem Spektrum ausschneidet. Die Regulirung der Lichtintensität geschah durch die Weite der Objectivspalte[4]). Um das Purkinje'sche Phänomen im Centrum zu untersuchen, setzte von Kries ein kleines Diaphragma in den Spektralapparat ein, so dass die obere und untere Hälfte der Kreisfläche mit gleich hellem Roth und Blau erhellt wurde, und variirte gleichmäßig die Intensität beider Lichter durch die Höhe des Ocularspaltes. von Kries fing mit einer Lichtintensität an, bei welcher das rothe und das blaue Feldchen zugleich verschwinden und auftauchen, und erhöhte dann die Intensität[5]). Hier erhebt sich nun erstens das Bedenken, dass die An-

1) Bei Parinaud steht dieser Effect in Verbindung mit dem Sehpurpur.

2) Comptes rendus 1885. II. S. 1078.

3) Comptes rendus 1884. II. S. 241.

4) von Kries und von Frey, beschrieben in: Ueber die Mischung von Spectralfarben. Archiv f. Physiol. 1881, S. 337.

5) von Kries, a. a. O. I, S. 85.

Digitized by Google

fangsintensität nicht minimal ist, und zweitens, dass die Intensität, wie bei König, vielleicht nicht allmählich genug variirt wurde und so nicht alle möglichen Stufen darbot. Dies zweite Bedenken würde, wenn es sich bestätigte, den schon erwähnten Fehler der zu großen »Intensitätsintervalle« mit sich führen.

In späteren Versuchen hat von Kries Pigmentfarben angewandt[1]), und damit jeden Einwand wegen zu großer Intensität beseitigt. Außerdem hat er auch den Einwand Koster's (des einzigen, der sonst dieses Phänomen wirklich im Centrum untersucht hat) zurückgewiesen, dass »bei Verschmälerung der Spalte ein willkürlicher Theil derselben Spektra herausgenommen werde«[2]). Diesen Einwand hat jedoch kürzlich von Kries zugegeben[3]). Auf der anderen Seite aber hat man, wenn man Pigmentfarben braucht, kein ganz sicheres Maß für die Bestimmung der Wellenlängen, und diese Unsicherheit beeinträchtigt auch die Resultate Grailich's[4]) und Aubert's[5]) sowie diejenigen Dove's[6]), der rothe und blaue Gläser von unbestimmten Wellenlängen benutzte. Koster's Versuchsanordnung unterscheidet sich von derjenigen von Kries', dass er nicht wie dieser den Spalt des Heliostaten, sondern ein Diaphragma schloss und öffnete, welches direct hinter der achromatischen Linse aufgestellt war. Er behauptet, dass dabei von jedem Strahlenkegel immer ein gleich großer Theil ausgeschnitten werde. Die achromatische Linse mit ihrem beweglichen Diaphragma passte ganz genau in die Oeffnung eines geschwärzten Rohres, und auf einen Schirm, auf dem das Bild entworfen war, und auf dem Blau und Roth gleich hell erschienen, wurden zwei quadratische Fensterchen auf die Weise eingeschnitten, dass zwei Thürchen in dem Schirm entstanden. »Diese Thürchen wurden nach hinten geöffnet derart, dass sie mit dem Schirm einen Winkel von etwas mehr als 30° bildeten. Das spektrale Roth und

1) von Kries, a. a. O. II, S. 100.

2) Koster, Untersuchung zur Lehre vom Farbensinn. Archiv f. Ophthalm. 41. 4. S. 12.

3) J. von Kries und W. Nagel, Ueber den Einfluss von Lichtstärke und Adaption auf das Sehen des Dichromaten (Grünblinden). Zeitschrift für Psychol. 12. S. 33.

4) Sitzung der Wiener Akademie Bd. 54. 1854, S. 252.

5) Physiol. der Netzhaut 1865, S. 125.

6) Pogg. Ann. Bd. 85. 1852, S. 397.

Digitized by Google

Blau konnte von der Seite aus auf diesen kleinen Flächen gesehen werden. Bei einer Entfernung von 0,5 m fiel das Bild durch ein Rohr und auf eine stäbchenfreie Netzhautstelle. Es ist hier zu bemerken, dass Koster eine besondere Untersuchung über das stäbchenfreie Gebiet angestellt hat[1]) und es zu 0,552 mm Durchmesser angibt, also einem Sehwinkel von 1° 54′ entsprechend, weshalb er dann selbst einen Durchmesser von 0,5 mm anwandte. Das Gebiet, in dem die Zapfen überwiegen, beträgt 0,828 mm im Durchmesser — einem Sehwinkel von ‚3° 3′ entsprechend. Dennoch sah Koster das Purkinje'sche Phänomen »genau so schön wie für große Felder«[2]).

von Kries hat aber diese Versuche Koster's in Zweifel gestellt, weil, wie er meint, Koster nicht »für die erforderliche foveale Fixation die genügende Garantie gebe«[3]).

In dieser Uebersicht sind auch die Schwierigkeiten in der Untersuchung dieses Phänomens im Centrum schon angedeutet. Dass die Frage noch nicht entschieden ist, ist wohl eine Rechtfertigung für die vorliegenden Experimente. Die Vermeidung früherer Fehler kann uns dem Ziel einer Lösung des Problems näher rücken, obwohl in Hinsicht der vielen Schwierigkeiten die Hoffnung auf absolute Sicherheit den Ergebnissen vielleicht fernbleibt. Wir haben demgemäß besondere Sorge für drei Vorsichtsmaßregeln getroffen: 1) Dass die Fixation genau foveal ist. Dies schließt in sich, nicht allein dass der Beobachter die Mitte zwischen den beiden farbigen Feldern genau fixirt, sondern dass das Licht durch Ausschließung irgend welcher Nebenstrahlen und durch eine feste Stellung des Kopfes in Wirklichkeit auf das Centrum fällt. 2) Dass die Lichtintensität nicht allein so niedrig gemacht werden kann, dass die Farben bald darauf verschwinden, sondern dass eine allmähliche minimal vorgehende Veränderung der Intensität keinen sprungartigen Wechsel derselben und so allzu große »Intensitätsintervalle« erlaubt. 3) Dass die spektroskopisch bestimmten rothen und blauen Felder bei Tageslicht sowohl den Eindruck gleicher Sättigung wie auch gleicher Helligkeit machen, denn wir wissen, dass eine Sättigungsänderung bei dem Phänomen ebenso charakteristisch ist, wie die Helligkeits-

1) Koster, a. a. O. S. 2. 2) Koster, a. a. O. S. 13.
3) von Kries, a. a. O. II, S. 106.

Digitized by Google

änderung[1]). Die Unterschiede in den folgenden Versuchen von den vorhergehenden liegen hiernach: 1) in der Berücksichtigung der zweiten Vorsichtsmaßregel, 2) in einer Abmessung des Intensitätswechsels, und 3) in dem Gebrauch von spektroskopiseh bestimmten Gelatineplatten. Die Beschreibung der Versuchsanordnung wird den Vortheil dieser Unterschiede zeigen und auch, wie sorgfältig die Vorsichtsmaßregeln getroffen wurden.

Zwei Dunkelzimmer standen zur Verfügung, und zwischen diesen befand sich ein Aubert'sches Diaphragma, welches in diesem Versuche eine quadratische Oeffnung für directes Sehen von 10 mm Seite, d. h. einen Durchmesser von 14,15 mm hatte. Das Netzhautbild erhielt daher eine Länge von 0,635 mm, oder einen Sehwinkel von $2^0\,11'\,12''$. Dieser Sehwinkel fällt unterhalb desjenigen, welchen zuerst von Kries (4^0) gebraucht hat[2]), und ist nicht sehr abweichend von demjenigen Koster's (s. S. 6 f.). Im Vorzimmer (das zweite Zimmer sei kurzweg Dunkelzimmer genannt) stand ein Tisch vor dem Objectivspalt, d. h. der Aubert'schen Diaphragmaöffnung, und auf ihm ein Auer'scher Brenner, welcher, wenn in der Gesichtslinie vom Spalte zurückgezogen, durch zwei Schienen in genauer Richtung gehalten werden konnte. Gerade diese Hin- und Herbewegung der Lampe war es, welche die Methode in Bezug auf Intensitätsintervalle am einwurfsfreiesten machte. Denn eine Bewegung von 1 cm brachte im allgemeinen eine kaum merkliche Aenderung der Intensität und niemals jene sprungweise Aenderung hervor, welche bei Spaltschließung oder selbst bei der Anwendung des Nicol'schen Prismas so leicht möglich sein kann. Die Entfernungen zwischen dem Objectivspalt und dem äußeren Ende des Lampenrohres wurden nach Centimetern gemessen, und diese Entfernungen stellten zu gleicher Zeit ein Maß der verschiedenen Intensitäten dar. Um eine hinreichend schwache Lichtstärke zu erzielen, wurde ein Mattglas in das das Licht zuführende Rohr des Lampengestells, welches den Auer'schen Brenner enthielt, eingeschoben und die kreisfömige Oeffnung dieses Rohres mit einem Pappdeckel bedeckt, durch welchen genau im Centrum ein Einschnitt von 4 qmm gemacht wurde. Hinter diesen Deckel wurde

1) Hering, Ueber das sogenannte Purkinje'sche Phänomen. Pflüger's Archiv 60, S. 531.

2) A. a. O. I, S. 121.

Digitized by Google

ein Londoner Rauchglas Nr. 4 gestellt. Man sah das Licht durch dieses Glas zwar sehr schwach gelblich, aber in so geringem Maße, dass sich trotzdem für die Spektra der rothen, grünen oder violetten Gelatineplatten kein spektroskopischer Unterschied ergab. Ein Kerzenlicht unter einem Kasten im Vorzimmer gab endlich genügendes Licht für die nothwendigen Notizen.

Auf der vorderen Seite des Objectivspaltes war eine Fassung angebracht, in welche von einer Seite her rothe und von der anderen violette Gelatinelagen eingeschoben werden konnten. Das Roth, aus 6 Lagen, ließ nur Licht zwischen 714 $\mu\mu$ und 676 $\mu\mu$ oder unweit von Linie *B* hindurch, das Violett, von gleicher Helligkeit und Sättigung für alle Versuchspersonen, auch aus sechs Lagen bestehend, ließ nur Licht zwischen 461 $\mu\mu$ und 422 $\mu\mu$ oder unweit von Linie *G* hindurch. Zwischen den rothen und violetten Gelatineplatten war zuerst eine verticale Oeffnung von 1 mm Breite. Aber das weiße Licht, welches durch diese Oeffnung drang, hatte stets die Wirkung, wenn das Auge sich nicht quälend anstrengte, entweder das Blau oder bei den geringeren Intensitäten beide Farben zusammen zum Verschwinden zu bringen. Diese Störung war so auffallend, dass ich dann die Oeffnung mit einem schwarzen Streifen bedeckte. Die Grenze zwischen dem violetten und rothen Feld erschien jetzt wie eine schwarze verticale Linie. Diese Störung erinnert an den leuchtenden Punkt, welcher von Kries in seinen letzten Versuchen als Fixirzeichen diente[1]), und es entsteht dadurch das Bedenken, dass, besonders wenn bei abnehmender Lichtstärke dieser Punkt einen zunehmenden Contrast zu den farbigen Feldern darstellte, derselbe möglicher Weise wie in diesen unseren ersten Versuchen zu Gunsten des Roth wirken konnte.

Die Gelatineplatten erwiesen sich nicht allein als praktisch anwendbar beim Gebrauch von spektroskopisch bestimmten Farben, sondern sie gestatteten auch bei durchfallendem Licht bis zu einer sehr geringen Intensität herabzugehen. Diese Intensität kann sogar so gering sein, wie man sich durch den Versuch leicht überzeugen kann, dass bei derselben kein Spektrum mehr erzeugt wird[2]) und doch

1) A. a. O. II, S. 100.

2) In meinen Versuchen etwa bei einer Entfernung der Lampe von 20 cm.

Digitized by Google

dabei die Farbeneindrücke immer noch empfunden werden. Ein spektrales Blau von gleicher Helligkeit mit spektralem Roth ist jedoch sehr schwer aus Gelatineplatten zusammenzusetzen, dagegen ein Violett von gleicher Helligkeit, wie auch nach Aars' Erfahrung[1]), verhältnissmäßig leicht. Gelb kann nach Kirschmann[2]) überhaupt nicht zusammengesetzt werden. Es ist übrigens zu bemerken, dass die in diesen Versuchen gebrauchten Gelatineplatten wiederholt auf ihre spektrale Echtheit geprüft wurden.

Mit Rücksicht auf die Nothwendigkeit, dass die Lichtstrahlen genau auf die Fovea fallen, befand sich im Dunkelzimmer dicht am äußeren Spalte und auf einem Tische ein von unten durch ein Stativ befestigtes, aus drei in sich verschiebbaren Theilen bestehendes Rohr, welches inwendig mit Sammetpapier beklebt war. Der Theil unmittelbar am Spalte hatte 6 cm im Durchmesser, aber nur eine kreisförmige Oeffnung von 1,8 cm. Die äußere (oculare) Oeffnung des Rohres war frei gelassen. Dessen ganze gebrauchte Länge betrug 78 cm. Die Versuchsperson saß im Dunkelzimmer, die Augen 80 cm von dem Spalte entfernt, den Kopf auf einer Kinnstütze, und in dieser Stellung durch eine Klammer an einer Schläfe festgehalten. Das rechte Auge wurde allein gebraucht, und um nicht mit dem linken zu sehen, trugen die Versuchspersonen der Bequemlichkeit wegen eine glaslose Brille, deren linker Ring mit schwarzem Carton beklebt war. Der Versuchsperson wurde gesagt, dass sie den schwarzen Streifen zwischen den farbigen Feldern fest fixiren solle. Um die größte Sicherheit in der Fixation zu gewähren, wurde nach dem Vorschlage von Herrn Professor Wundt ein Lichtpunkt rechts von dem Objectivspalte als Controlpunkt für directes Sehen angebracht. Dieser Lichtpunkt wurde durch eine andere Spaltöffnung in dem Aubertschen Diaphragma erhalten, und diese Spaltöffnung von 3 mm Seite bildete mit dem Auge des Beobachters einen Sehwinkel von 10°. Das hier durchfallende Licht war sehr schwach; doch nahm die Versuchsperson es wahr, ohne direct zu fixiren, und wusste fort-

1) Aars, Untersuchungen über Farbeninduction (Videnskabsselskabets Schriften. I. Math.-naturw. Klasse, 1895, Nr. 3, S. 11).

2) Kirschmann, Ueber die Herstellung monochromatischen Lichtes. Philos. Stud. VI, S. 548.

Digitized by Google

während, ob ihr Auge sich bewegte, da die Empfindlichkeit für ein bewegtes Licht in der Peripherie sehr ausgeprägt ist.

An diesen Experimenten betheiligten sich die Herren: Dr. P. Mentz, H. Eber, E. Mosch, W. Przibram und S. J. Franz, welchen allen ich zu großem Dank für ihren hülfreichen Beistand verpflichtet bin. Sie zeigten sich alle als farbentüchtig, und nachdem sie durch Vorversuche eingeübt waren, wurde jedes Resultat bei den eigentlichen Versuchsreihen ohne Ausnahme für die Tabelle gebraucht.

Da ich den Zweck verfolgte, nicht allein das Purkinje'sche Phänomen einmal unter zufälligen Bedingungen zu sehen, sondern auch seine höhere und niedrigere Schwelle zu bestimmen, so suchte ich eine Feststellung der folgenden fünf Punkte:

1) Die längste Entfernung des Lampenobjectivs von dem Spalte, bei welcher Roth und Blau als gleich hell wahrgenommen wurden (Columne *A* in Tabelle I).
2) Die Entfernung, von welcher an Blau heller gesehen wurde (Columne *B*).
3) Die Entfernung, bis zu welcher Blau als Blau gesehen wurde (und nicht als gänzlich Weiß) (Columne *C*).
4) Die Entfernung, in welcher Roth verschwand (Columne *D*).
5) Die Entfernung, in welcher das Purkinje'sche Phänomen gesehen werden konnte, während Roth und Blau noch sichtbar blieben (Columne *E*).

Obwohl die obenerwähnte Lichtstärke sehr gering war, fand ich doch sogleich, dass die rothe und blaue[1]) Gelatineplatte dem Beobachter gleich hell erscheinen konnten. Daher konnte die minimale Intensität, bei welcher die Versuchsperson die Farben gleich hell wahrnahm (Colume *A*), als gute Anfangsintensität angenommen werden.

Nachdem eine Adaptation von 20 Minuten vorausgegangen, war die Versuchsmethode die folgende: Ich bewegte die Lampe langsam entweder rückwärts oder vorwärts und sagte am Ende jeder Bewegung »Jetzt«. Ich erhielt dann Antworten wie »Blau heller«, »Roth heller« oder »Ungefähr gleich«. Die Ungewissheit in der Beurtheilung der Helligkeit der Farbe ist wohlbekannt, aber eine auf-

1) Die violette Platte erschien immer als Blau bei dieser geringen Lichtstärke.

Digitized by Google

fallende Erscheinung bei diesen Versuchen war, dass die Farben für die längste Entfernung der Gleichheit gewöhnlich bei einem gewissen Punkte, welcher in der Nähe von 39 cm Entfernung gefunden wurde, als »ungefähr gleich« geschätzt wurden. »Ungefähr gleich« bedeutete, dass die Farben den Versuchspersonen ohne einen merklichen Unterschied gleich hell erschienen. Bei dieser ungefähren Entfernung von 39 cm kam das Blau durch eine einzige sehr kleine Bewegung heller-zum Vorschein und blieb so von diesem Punkte an. Dieser Wechsel schien augenblicklich zu sein, aber weil er eine Bewegung der Lampe erforderte und die Messungen nach Centimetern gemacht wurden, habe ich ihn als einen Unterschied von 1 cm bezeichnet. Es war eben zuvor noch, als ob die Farben mit gleicher Kraft erstrahlten, aber plötzlich wurde dann Roth übertroffen. Nachdem dieses Phänomen erst vielmals wiederholt gesehen war, vereinfachte sich die Methode: die Lampe wurde nun sogleich in eine Entfernung von 39 cm gestellt, und die Entfernung konnte dann sehr rasch festgestellt werden, bei welcher der Wechsel stattfand.

Die rothe und blaue Scheibe wurden bei jedem neuen Beobachter dem Spalte angepasst, und ich fand, dass große Sorgfalt angewandt werden musste, um die objective Größe des Roth mit der des Blau gleichmäßig zu machen. Daher wurden nicht allein die Versuchspersonen nach der objectiven Größe gefragt, sondern vor der Versuchsstunde probirte ich selber die Gleichheit.

Der folgende Controlversuch mit Mr. Franz gemacht, zeigt, welche Resultate eine Ungleichheit hervorbringen würde. In I hatte das Blau ungefähr dreimal die Größe des Roth. In II dagegen hatte Roth ungefähr dreimal die Größe des Blau.

A	*B*	*C*	*D*	*E*	
23	24	80	25	1	I
48	49	54	62	5	II

Dieses Resultat beweist, dass, wenn die blaue Fläche viel größer ist, das Blau viel weiter als das Roth gesehen wird; wenn dagegen die rothe Fläche viel größer ist, so wird sie nur wenig weiter als

Digitized by Google

die blaue gesehen. Ein Vergleich mit Tabelle I zeigt, dass, wenn die Flächen gleich sind, die rothe nur sehr wenig weiter als die blaue gesehen zu werden pflegt.

Noch ist zu erwähnen, dass die blaue Fläche weniger und weniger gesättigt erschien und endlich in farbloses Licht überging. Dieses weiße Licht blieb so lange, als die Lampe bewegt werden konnte (110 cm). Die Stelle, wo das Blau gänzlich Weiß wurde, war schwer genau zu bestimmen. Wurde z. B. die Lampe von einer Entfernung von 110 cm an gegen den Spalt bewegt, so wurde das Blau erst näher dem Spalte, z. B. in einer Entfernung von 50 cm gesehen, als wenn die Lampe in umgekehrter Richtung bewegt wurde, wo es z. B. in einer Entfernung von 70 cm in Weiß überging. Ich bestimmte daher zwei Punkte, einen, wo Blau zuerst, und einen andern, wo es zuletzt gesehen wurde, und, wie bei der Methode der »minimalen Aenderungen«, wurde dann der Durchschnitt der zwei Entfernungen genommen. Er ist in Columne *C* angegeben.

Dieselbe Methode wurde für Roth angewandt, aber sie wurde bei zunehmender Entfernung der Lampe zuletzt durch intermittirendes Auftauchen und Verschwinden charakterisirt; und bei abnehmender Entfernung durch das Auftauchen des Roth aus der Dunkelheit.

Tabelle I. Gesichtswinkel = 2° 11′ 12″

A	*B*	*C*	*D*	*E*	Die Schwellenzahlen bedeuten die Entfernung der Lampe vom Spalt in Centimetern.
Herr Dr. P. Mentz.					
10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimm.
38,6	39,6	72,4	72,5	29,7	Mittlerer Werth
1,72	1,72	5,12	6,40	6,10	Mittlere Variation
43	44	79	85	41	Größte Schwelle
36	37	59	63	15	Kleinste Schwelle

Digitized by Google

Gesichtswinkel = 2° 11′ 12″

A	*B*	*C*	*D*	*E*	Die Schwellenzahlen bedeuten die Entfernung der Lampe vom Spalt in Centimetern

Herr H. Eber.

10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimm.
36,5	37,5	66,7	74,6	28,2	Mittlerer Werth
4,30	4,30	6,70	5,40	6,76	Mittlere Variation
43	44	77	86	38	Größte Schwelle
26	27	56	63	15	Kleinste Schwelle

Herr E. Mosch.

10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimm.
39,1	40,1	54,7	61,2	14,3	Mittlerer Werth
2,32	2,32	3,02	4,68	3,20	Mittlere Variation
44	45	60	70	21	Größte Schwelle
36	37	47	53	7	Kleinste Schwelle

Mr. S. J. Franz.

10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimm.
39,6	40,6	59,3	64,3	18,5	Mittlerer Werth
1,36	1,36	7,96	5,42	6,80	Mittlere Variation
41	42	75	77	33	Größte Schwelle
35	36	51	57	10	Kleinste Schwelle

Digitized by Google

Gesichtswinkel = 2° 11′ 12″

A	*B*	*C*	*D*	*E*	Die Schwellenzahlen bedeuten die Entfernung der Lampe vom Spalt in Centimetern

Herr W. Przibram.

10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimm.
39,8	40,8	68,0	69,6	24,8	Mittlerer Werth
2,80	2,80	5,80	4,92	6,80	Mittlere Variation
44	45	79	82	36	Größte Schwelle
36	37	49	60	9	Kleinste Schwelle

In allen diesen Beobachtungen machte ich häufige Pausen; denn anderenfalls wurde bemerkt, dass in Folge der Anstrengung der Augen das Blau eher in weißliches Licht überging und Roth, aber weniger bemerkbar, eher verschwand.

Die erwähnte Anfangsintensität in Columne *A* unterschied sich, wie erwartet werden konnte, bei den verschiedenen Versuchspersonen und auch an verschiedenen Tagen in Folge des verschiedenen Gasdrucks, und dennoch überstieg der etwaige Unterschied nicht die Höhe von 18 cm. Wenn wir die vereinzelte große Ausnahme in der kleinsten Schwelle bei Herrn Eber (26 cm), für die ich keine Erklärung fand, ausschließen, so ist diese Höhe sogar nur 9 cm.

Die Columne *B* stellt die höhere Schwelle des Phänomens dar, eine Schwelle, welche, so weit ich finden kann, bisher bei Dunkeladaptation nicht bestimmt worden ist.

Der merkwürdige Wechsel, welcher oben (S. 443) beschrieben wurde, ist eine ebenso schwierig zu erklärende Thatsache, wie das Purkinje'sche Phänomen selbst. Die Farben üben bekanntlich auf einander gegenseitigen Contrast aus, aber mit dem Einfluss der geringen Lichtstärke schienen diese Farben plötzlich einem anderen Gesetz zu gehorchen. Dementsprechend kann man die Hypothese aufstellen, dass die Farben in Wirklichkeit eher verschieden von

Digitized by Google

einander in Helligkeit waren, aber wegen der Schwierigkeit der chromatischen Unterscheidung für eine längere Zeit gleich hell zu bleiben schienen. In diesem Sinne ist etwa 39 cm die untere Schwelle bei abnehmender Lichtstärke für die Unterschiedsempfindlichkeit in Bezug auf gleiche Helligkeit, und bei Tageslicht wäre die Schwelle, wie sie von König und Brodhun gesucht, aber nicht gefunden wurde, die obere Schwelle zu nennen. Aehnliches über diesen Wechsel hat Dobrowolsky in seinen Untersuchungen über das Purkinje'sche Phänomen bemerkt, indem er sagt, dass »bei gleichmäßiger Verstärkung oder Abschwächung der Helligkeit der Farben die Empfindlichkeit nicht stets gleichmäßig wächst oder fällt, sondern Sprünge vorkommen und zwar vorzugsweise in der Tabelle für Roth, seltener in der für Blau« [1]).

In den Columnen *C* und *D* wurden Blau resp. Roth einzeln statt der mittleren Linie zwischen beiden fixirt. Der Grund dafür lag in der Schwierigkeit, nach 50—60 cm Entfernung beide Farben zu gleicher Zeit zu beobachten, d. h. innerhalb dieser Grenze fing Roth zu verschwinden und aufzutauchen an, und eine weitere Anstrengung der Augen, die maximale Weite für ein Zusammensehen zu bestimmen, schien unzweckmäßig.

Die Columne *E*, welche die mittleren Werthe für diese unteren Schwellen zeigt, möge vor Augen führen, wie weit ungefähr in dieser Beziehung das Purkinje'sche Phänomen im Centrum von jeder der Versuchspersonen beobachtet wurde. Die Zahlen, aus denen diese Columne berechnet ist, wurden gewonnen durch Subtraction der einzelnen Bestimmungen der Columne *B*, von dem jedesmaligen zugehörigen Werthe der zugehörigen Einzelbestimmungen der Columne *C* bezw. *D*, wobei aus diesen Zahlen der Durchschnitt genommen wurde. Dieser zeigt daher die Durchschnittsentfernung, in welcher beide Farben als Farben gesehen wurden, und da Blau immer heller war, so gibt diese Columne ein Maß für die Dauer des Phänomens. Wenn man das Mittel aller Durchschnittswerthe in den Columnen *B* und *E* ausrechnet, so darf man die Entfernung 39,7 cm als die obere und die Entfernung 64,2 cm als die untere Schwelle des Phänomens annehmen.

1) Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben bei wechselnder Lichtstärke derselben. Pflüger's Arch. 24. 1881. S. 197.

Digitized by Google

Der Unterschied in der Intensität für die obere und die untere Schwelle war im Ganzen sehr gering, und aus diesem Grunde kann auch leicht bei Anwendung einer andern Methode das Vorhandensein zweier solcher Schwellen übersehen werden, wie z. B. auch das folgende Experiment zeigt: Man stelle die Lampe in etwa 39 cm Entfernung, wo die Farben zuletzt als gleich hell erscheinen, und drehe den Gashahn nur ein klein wenig um. Bei allen Versuchspersonen verschwindet dann plötzlich das Roth, und eben so plötzlich bleibt statt Blau nur ein weißliches Licht übrig. Hier hat man ein frappantes Beispiel von zu großen Intensitätsintervallen. Dobrowolsky hat die Nothwendigkeit der Sorgfalt in der Drehung auch des Nicols bei der Bestimmung der niedrigsten Grenze betont, da, wie er schreibt, »die Drehung des Nicols um einige Minuten schon einen großen Unterschied bei der Berechnung hervorruft« [1]).

In den vorliegenden Versuchen war es sicher, dass die Versuchspersonen in etwa 39 cm Weite das Purkinje'sche Phänomen sahen, dass dasselbe zwischen 39—50 cm bei simultaner Fixation immer noch als sicher vorhanden erschien, und wenn wir Gewicht auf die successiv bestimmte Schwelle für Roth und Blau (Columne *C* und *D*) legen, so wurde das Phänomen bis zu etwa 64 cm gesehen. Mit andern Worten: die Resultate geben einen überzeugenden Beweis, dass das Purkinje'sche Phänomen im Centrum eben so charakteristisch wie in der Peripherie stattfinden kann.

II.

Das angebliche Fehlen des Purkinje'schen Phänomens im Centrum der Netzhaut wird in einen Gegensatz gebracht zu seinem Vorhandensein in der Peripherie. Denn wo Stäbchen überwiegen, muss nach der Theorie der Farbenblindheit der Stäbchen der Stäbcheneffect bei dunkel-adaptirtem Auge und geringer Lichtstärke am auffallendsten sein. Dieser Stäbcheneffect würde unter diesen Bedingungen seinen Ausdruck in dem Erscheinen des Purkinje'schen Phänomens, aber zugleich auch in einer solchen Verminderung der Sättigung des Grün und Blau haben, dass grüne und blaue Licht-

1) Dobrowolsky, a. a. O. S. 196.

Digitized by Google

strahlen schließlich in weißes Licht übergehen[1]). Die Wahrnehmung von Roth und Gelb dagegen, da solche Lichtstrahlen angeblich keinen merklichen Reiz auf die Stäbchen ausüben, soll hauptsächlich, wenn nicht völlig, von der Zapfenthätigkeit abhängen.

Ein solcher Stäbcheneffect ist in der That ein Glied sowohl in der Theorie Chr. Ladd-Franklin's, wie in den Theorien von Kries' und Parinaud's. Nach dem Ersteren wirkt nämlich Roth weniger als Grün und Blau auf die Graumoleküle der Stäbchen[2]). Nach Parinaud erregen die Farben in der erwähnten Ordnung bei Dunkeladaptation nur den Sehpurpur und die Stäbchen[3]), und nach von Kries sind bei Dunkeladaptation die Stäbchen »Endapparat«, wobei die kurzwelligen Lichter begünstigt werden[4]). Aber die Annahme Ladd-Franklin's weicht insoweit von den anderen ab, dass nach ihr bei dunkel-adaptirtem Auge und geringer Lichtstärke die Farbenmoleküle der Zapfen endlich so schwach afficirt werden, dass die Farben unter der Schwelle bleiben[5]); und da die Zapfen auch die Empfindung von farbloser Helligkeit liefern können, so ist die Betheiligung der Stäbchen an dem Hellerwerden der kurzwelligen Farben eine unbestimmte. Dementsprechend wäre weder das Vorkommen des Purkinje'schen Phänomens in der Peripherie noch sein Fehlen im Centrum der Netzhaut ein entscheidender Ausdruck dieses Stäbcheneffects. Dagegen kommen die Stäbchen nach der Hypothese von Kries' und Parinaud's bei Dunkeladaptation Hand in Hand mit der Verminderung der Lichtstärke zur Geltung, und endlich, wenn nur »farblose Helligkeiten« gesehen werden, sind hier die Stäbchen allein thätig.

Diese Hypothese stimmt daher mit der Theorie der »Farbenblindheit« der Stäbchen, welche zuerst von M. Schultze[6]) im Jahre 1866 aufgestellt wurde, überein, geht aber über diese hinaus, inso-

---

1) von Kries, a. a. O. I, S. 83.

2) Ladd-Franklin, Eine neue Theorie der Lichtempfindungen, Zeitschrift f. Psych. Bd. IV, 1893, S. 217.

3) Parinaud, a. a. O. II, S. 135.

4) von Kries, a. a. O. I, S. 87.

5) Ladd-Franklin, Ebenda S. 217.

6) M. Schultze, Zur Anatomie und Physiol. der Retina, Arch. f. mikrosk. Anat. II, 1866, S. 256 ff.

Digitized by Google

fern sie den Stäbchen größere Reizbarkeit für kurzwellige Lichter zuschreibt. Auch G. E. Müller nimmt neuerdings für die Stäbchen eine Reizbarkeit nur gegen den »Weißwerth« eines Lichtes an[1]); aber indem die Zapfen eine gleiche Reizbarkeit besitzen, d. h. nach seiner Ausdrucksweise sowohl Neben-, Weiß- und Schwarz- wie Farben-Material enthalten, und da die chromatische und Weißvalenz ganz getrennt gehalten sind[2]), so ist die Erklärung des bei Dunkeladaptation stattfindenden Phänomens nicht durch den angeblichen Stäbcheneffect bewirkt. Betrachtet man nun genauer das Hellerwerden und den Verlust der Sättigung durch Stäbcheneffect, so wird daraus ersichtlich, dass man auf einer Farbenscheibe von weißen und z. B. grünen Sectoren in dem Moment, wo Grün in weißes Licht übergeht, eine andere Bestimmung der Farbe erhalten würde, als es bei Tageslicht der Fall wäre.

Nun sind die Schwellen aller Farben, wie man aus den Theorien von Kries' und Parinaud's entnehmen darf, bei einem Uebergang vom Centrum zur Peripherie der Netzhaut wegen der immer geringeren Zahl, und vielleicht der reducirten Reizbarkeit der Zapfen relativ gleichmäßig erhöht. Dagegen müssen die Schwellenwerthe von Grün und Blau wegen des hinzukommenden Stäbcheneffects noch viel mehr im Verhältniss zu denen von Roth und Gelb gestiegen sein. Dies ist wohl anzunehmen, da der Stäbcheneffect nach Parinaud derselbe sein soll, als wenn eine Farbe mit weißem Licht gemischt würde[3]), und da die resultirende Verminderung der Sättigung von Grün und Blau gerade die Wahrnehmung von deren Schwellen beeinflussen muss. Wenn jetzt bei dunkel adaptirtem Auge und geringer Lichtstärke diese Farben farblos werden, so ist hier in der That der Moment vorhanden, wo diese Verminderung der Sättigung in deren Einfluss auf die Schwellenbestimmungen am auffallendsten zu sein pflegt. Wenn dann die Schwellen der Farben bei Dunkeladaptation einmal für das Centrum festgestellt sind, so müssen

1) G. E. Müller, Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen, Zeitschrift f. Psychol. u. Physiol. d. S. 1896. S. 404.

2) Ebenda S. 329.

3) Parinaud, La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales, Revue scientifique IV, 3, 1895. S. 713.

Digitized by Google

diese Bestimmungen für die Peripherie nicht mehr gültig bleiben, und zwar in dem Sinne, dass die Schwellenwerthe des Grün und Blau verhältnissmäßig schneller als die des Roth und Gelb erhöht sind.

Es ist dabei aber doch auch nicht außer Betracht zu lassen, wie von Kries neuerdings betont hat[1]), dass sich das Verhältniss der Schwellenwerthe des Roth und Blau im Uebergang vom Centrum zur Peripherie der Netzhaut aus verschiedenen Ursachen ändern kann, und dass daher etwaige Veränderungen in den Schwellenwerthen vom Centrum zur Peripherie keinen sicheren Beweis für Stäbchenthätigkeit geben. Schwerlich ließe sich dann bei Dunkel- oder Helladaptation allein ein Stäbchen- und Adaptationseffect bestimmen; aber die Bestimmungen sowohl bei Hell- wie bei Dunkeladaptation machen eine entscheidende Vergleichung möglich. Bei Dunkeladaptation wird, wenn die Zapfen immer noch thätig bleiben, dieses wechselnde Verhältniss der Farbenschwellen trotz des Stäbcheneffectes und der Adaptation immer noch beibehalten. Ein Anhaltspunkt daher für eine Vergleichung zwischen den bei Dunkel- und Helladaptation angestellten Versuchen liegt, wie schon von Kries und Koster behauptet haben, und wie die folgenden Resultate bestätigen, in der Gleichheit der Schwellen im directen Sehen bei Dunkel- sowohl wie bei Helladaptation. Wenn man dann einmal die Schwellenwerthe des Roth und Blau für das Centrum und für extramaculare Netzhautstellen bei dunkeladaptirtem Auge und geringer Lichtstärke, und außerdem bei Tageslicht bestimmt und die Schwellenwerthe der Peripherie mit denen des Centrums beiderseits vergleicht, so hat man ein Maß für den etwaigen Einfluss sowohl der Stäbchen wie der Adaptation.

Eine solche Untersuchung über Stäbchen- und Adaptationseffect in Bezug auf etwaige Verminderung der relativen Schwellenwerthe des Roth und Blau bei Dunkeladaptation im Vergleiche zu Helladaptation und im Uebergang vom Centrum zur Peripherie der Netzhaut darf, so weit ich finden kann, ein neuer Versuch genannt werden. Die Versuche über Farbenschwellen, wie z. B. diejenigen

1) von Kries, a. a. O. II, S. 125.

Digitized by Google

von Charpentier[1]) und Aubert[2]), sind nicht für das Centrum und die Peripherie sowie bei Hell- und Dunkeladaptation angestellt und erlauben daher die nöthige Vergleichung nicht.

Die kleinen Schwellen Aubert's, welche er mittelst kleiner farbiger Sectoren gefunden hat, sind überdies zu klein, als dass man sie mit zureichender Genauigkeit auf eine Unterschiedsempfindlichkeit zwischen Hell- und Dunkeladaptation beziehen könnte. Ein feineres Maß der Unterschiede ist erst durch eine Abmessung der Entfernung der Lampe, wenn die Farben farblos werden, und außerdem durch Gelatinescheiben, bei denen eine beliebige Menge weißen Lichtes beigemischt werden kann, möglich. Die erste Methode ist im Grunde dieselbe wie bei der Untersuchung des Purkinje'schen Phänomens im Centrum; die zweite wird später (S. 456) beschrieben werden.

Als Versuchsanordnung für die erste Methode waren außer der centralen Spaltöffnung zwei Quadrate von 5 mm Seite in dem Aubert-schen Diaphragma geöffnet. Diese Oeffnungen, welche Sehwinkel von 5^0 resp. 10^0 bildeten, erhielten genügend Licht vom Vorzimmer aus, um als Fixationspunkte zu dienen. Verschiedene Gelatineplatten von spektralem Roth, Grün und Violett von gleicher Helligkeit und Sättigung wurden vor den centralen Spalt gestellt und die Aufmerksamkeit nur auf das Verschwinden der betreffenden Farben gelenkt, d. h. auf die Veränderung von Roth in Schwarz und von Grün und Violett in Weiß. Das Grün, welches in diesem Versuche gebraucht wurde, bestand aus acht Gelatinelagen und lag zwischen 530 $\mu\mu$ und 522 $\mu\mu$. Sonst waren die Anordnungen und die Methode dieselben wie im vorigen Experimente. Die folgende Tabelle II gibt diese Resultate an, und Tabelle III, aus ihr berechnet, weist die Procente des Verlustes auf, welchen die Farben in Bezug auf Wahrnehmbarkeit beim Uebergang vom Centrum zur Peripherie erlitten.

---

1) Charpentier, Des sensations de lumière et de couleur dans la vision indirecte, Comptes rendus 1878. 86. S. 495.

2) Aubert, Physiologie der Netzhaut 1865. S. 139.

Digitized by Google

Tabelle II. Gesichtswinkel = 2° 11′ 12″

Direct			5° Rechts			10° Rechts			Die Schwellenzahlen bedeuten die Entfernung der Lampe vom Spalt in Centimetern.
R	G	B	R	G	B	R	G	B	Farben
Herr Dr. P. Mentz.									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimmungen
83,1	94,6	92,6	71,0	76,6	75,5	60,2	67,6	66,6	Mittlere Schwelle
5,52	7,72	10,32	5,40	8,00	7,40	8,04	5,00	5,92	Mittlere Variation
95	108	109	79	96	95	73	78	90	Größte Schwelle
73	85	80	64	64	63	47	59	54	Kleinste Schwelle
Herr H. Eber.									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimmungen
81,4	89,4	90,6	66,6	72,4	70,6	60,2	63,7	59,6	Mittlere Schwelle
6,00	7,40	7,36	8,88	5,60	6,56	9,96	7,36	8,68	Mittlere Variation
92	105	101	79	85	82	73	76	76	Größte Schwelle
64	79	77	49	58	54	38	39	41	Kleinste Schwelle
Herr E. Mosch.									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimmungen
84,2	84,1	83,8	65,9	67,9	68,8	56,5	60,9	59,9	Mittlere Schwelle
4,16	5,94	5,66	7,68	4,28	4,56	7,00	4,68	5,70	Mittlere Variation
92	96	95	81	78	80	70	74	72	Größte Schwelle
77	76	78	56	61	62	44	53	47	Kleinste Schwelle

Digitized by Google

Gesichtswinkel = 2° 11′ 12″

Direct			5° Rechts			10° Rechts			Die Schwellenzahlen bedeuten die Entfernung der Lampe vom Spalt in Centimetern
R	G	B	R	G	B	R	G	B	Farben
Mr. S. J. Franz.									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimmungen
84,8	85,4	83,2	66,2	68,3	64,6	55,1	57,8	56,7	Mittlere Schwelle
5,52	6,28	6,08	7,56	10,44	8,52	8,66	9,20	9,96	Mittlere Variation
96	98	106	79	95	85	72	79	78	Größte Schwelle
78	74	76	52	49	51	37	44	39	Kleinste Schwelle
Herr W. Przibram.									
10	10	10	10	10	10	10	10	10	Anzahl d. Einzelbestimmungen
80,0	95,0	96,7	66,5	73,8	74,2	60,0	65,8	63,1	Mittlere Schwelle
12,40	5,60	5,60	9,00	7,48	6,88	9,80	6,24	9,08	Mittlere Variation
105	102	105	77	84	82	73	75	75	Größte Schwelle
64	79	81	51	59	51	40	54	48	Kleinste Schwelle

Tabelle III. (Verhältniss zu Roth und Grün.)

Verlust von:

Beobachter	0° zu 5° R		5° R zu 10° R	
Herr Dr. P. Mentz	R	15 %	R	19 %
	G	16 %	G	12 %
Herr H. Eber	R	19 %	R	15 %
	G	19 %	G	13 %
Herr E. Mosch	R	21 %	R	15 %
	G	21 %	G	11 %
Mr. S. J. Franz	R	22 %	R	18 %
	G	20 %	G	13 %
Herr W. Przibram	R	18 %	R	10 %
	G	22 %	G	10 %

Digitized by Google

Ein Blick auf Tabelle II zeigt, dass die relativen Unterschiede des Roth und des Blau im Centrum gering sind; für 10° rechts im indirecten Sehen sind sie ganz minimal geworden. Im directen Sehen wurde Blau (Grün ist auch hierbei eingerechnet) durchschnittlich 6,8 cm weiter als Roth gesehen; für 5° rechts war der Unterschied 4,0 cm und für 10° rechts nur 3,7 cm.

Um dies deutlicher vor Augen zu führen, sind in Tabelle III die Schwellenverluste beim Uebergang vom Centrum zur Peripherie angegeben. Dabei ist jedoch Blau wegen seines Zusammenfallens mit Grün (s. Tabelle II) nicht besonders aufgenommen. Vom Centrum bis 5° rechts sind die Schwellenverluste ungefähr gleich, aber von 5° bis 10° rechts (wo die Stäbchen schon überwiegen) sind die des Roth in der Regel viel größer als die des Blau oder Grün[1]).

Versuche über die Schwellenwerthe bei Tageslicht wurden nicht gemacht. Denn nach den Ergebnissen der Versuchsreihen war es ersichtlich, dass, obwohl die Messungen sorgfältig ausgeführt wurden und jede Vorsichtsmaßregel getroffen war, auch die Resultate der verschiedenen Versuchspersonen auffallend übereinstimmten, doch die kleinen Unterschiede in den Ergebnissen eine überzeugende Entscheidung der Frage nicht herbeiführen konnten. Ueberdies ist nicht zu leugnen, dass die Bedingungen, bei denen das Blau in Weiß und das Roth in Schwarz übergehen, nicht die gleichen sind; auch ist es unsicher, inwieweit dabei das Blau eine Begünstigung erfahren haben mag. Blau bildet, wenn es mehr und mehr weißlich wird, einen zunehmenden Contrast gegenüber der Umgebung, und dies hat zur Folge, dass das Bläuliche noch weißlicher und die Schwelle für Blau selbst höher wird. Hering hat diese Thatsache betont[2]), und in den Untersuchungen Aubert's wurde sogar ein schmutziges Rothpigment auf schwarzem Grunde zur gleichen Zeit wie ein Hellblaupigment auf weißem Grunde wahrgenommen[3]).

---

1) Die Unterschiede im Centrum im Vergleich zu denen in Tabelle I sind natürlich andere, weil hier die Gesichtsfelder der Farben größer sind. Der Einfluss des größeren Gesichtsfeldes ist aus dem Controlversuch mit Mr. Franz genügend ersichtlich.

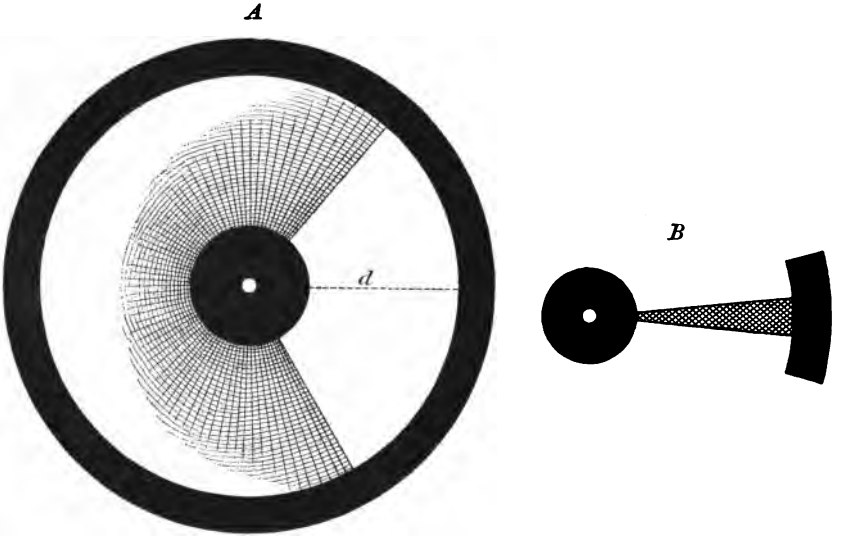
2) Hering, Zur Lehre vom Lichtsinne VI, Bericht der Akad. Wien 1874. 70. S. 186.

3) Aubert, Physiologie der Netzhaut 1865, S. 126.

Digitized by Google

Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass diese Verminderung in der Wahrnehmbarkeit des Blau ein Gegengewicht zu der Verminderung der Wahrnehmbarkeit des Roth herstellen mag. Jedoch, welche Verminderung auch stattfände, sie wird immer ein unsicherer Factor sein. Deshalb wurde diese Versuchsreihe nicht weiter fortgeführt; doch sind die Resultate mitgetheilt, weil sie im Ganzen mit denen der folgenden Versuche übereinstimmen.

In dieser neuen Versuchsreihe wurde größere Genauigkeit erstrebt, dadurch, dass Scheiben aus verschiedenen Sectoren zusammengesetzt wurden, bei denen man jeder Farbe eine abgemessene Menge weißen Lichtes beimischen konnte. Durch diese Beimischung hat man ein Mittel, um die Schwelle für Roth unter möglichst gleichen Bedingungen wie die für Blau und Grün zu bestimmen.



Gelatinescheiben wurden, wie die Figur zeigt, angefertigt, bei denen die eine Hälfte aus 6 Lagen, welche zusammen z. B. spektrales Roth gaben, die andere Hälfte aus 2 rein durchsichtigen Lagen, zusammengesetzt war. Diese Scheiben, welche am Rande und in der Mitte mit schwarzem Carton beklebt wurden, und durch welche das Licht durchscheinen konnte, besaßen 180° Roth und 180° Weiß. Andere Scheiben von 190° Roth und 170° Weiß, 200° Roth und 160° Weiß, u. s. w. wurden gemacht und nicht allein von rothen,

Digitized by Google

sondern auch von spektroskopisch bestimmten grünen und violetten Gelatinelagen. Die drei Farben machten bei Tageslicht bei allen Versuchspersonen den Eindruck gleicher Helligkeit und Sättigung. Alle Vielfachen von 10° von jeder Farbe konnten auf dem Uhrwerke des Rotationsapparates dem Beobachter vorgeführt werden. Um aber nicht so viele Scheiben zu construiren, waren Gelatine-Sectoren von verschiedenen Größen (z. B. 20°, 30°, 40°) gemacht, und diese konnten der ursprünglichen Scheibe auf dem Rotationsapparat zugesetzt werden. Die Gelatinelagen waren hier, wie in den ursprünglichen Scheiben, und wie in der Figur ersichtlich ist, in der Mitte und am Rande mit Carton zusammengehalten. Der Rotationsapparat gab den Scheiben eine große Geschwindigkeit, und wenn die Scheibe dicht am Objectivspalt in Rotation gesetzt wurde, sah der Beobachter Weiß oder eine gefärbte Fläche, ohne irgend ein Flimmern zu bemerken.

Ein Unterschied von weniger als 10° in den Scheiben wurde als unnöthig für die Bestimmung der Schwellen gefunden, mit Ausnahme der Scheiben zu 355°, wo oft ein entschiedener Wechsel bemerkbar war. Als Durchmesser hatten alle Scheiben 13 cm, und die Mitte 3 cm Durchmesser, der undurchsichtige Rand hatte eine Breite von 1 cm. Der Gebrauch von Gelatineplatten hat als Vorzüge vor dem Gebrauch von Papierscheiben und vor dem des Spektralapparats diejenigen, welche bereits in dem Versuche über das Purkinje'sche Phänomen im Centrum der Netzhaut hervorgehoben sind. Dort gab die Entfernung der Lampe ein feines Maß für die Intensität; hier gibt die gleiche Menge weißen Lichtes in Sectoren ein feines Maß für die verschiedene Empfindlichkeit gegen die Farben.

Selbstverständlich mussten hier dieselben Vorsichtsmaßregeln für directes Sehen getroffen werden, wie in den früheren Versuchen. Im Dunkelzimmer blieb daher die Versuchsanordnung bei Dunkeladaptation dieselbe wie vorher. Für indirectes Sehen wurde das Rohr bis 60 cm verkürzt, aber das beobachtende Auge war wie früher 80 cm von dem Objectivspalt entfernt. Als indirectes Fixirzeichen diente bei 5° rechts wie früher ein Spalt von 5 mm Seite in dem Aubert'schen Diaphragma; bei 10° und 25° rechts wurden dazu elektrische Lämpchen benutzt, welche, mit schwarzem Tuch bedeckt nur einen kleinen Lichtpunkt zeigten. Im Vorzimmer, vor dem äußeren Spalte, war ein Stück schwarzer Carton angebracht, welcher

Digitized by Google

den Spalt zeitweise bedeckte. Die Oeffnung des Lampenrohres befand sich in 10 cm Entfernung von dem äußeren Spalt; dies machte es möglich, den Rotationsapparat zwischen beide zu stellen.

Eine größere Lichtstärke wurde für wünschenswerth erachtet, um sich zu versichern, dass die Farben gleich hell gesehen werden konnten; und so wurde die quadratische Oeffnung des Cartons in dem Deckel des Lampenrohres bis auf 20 mm Seite geöffnet. Nach verschiedenen Versuchen wurden jedoch Resultate erhalten, welche befürchten ließen, dass die Intensität zu groß war, so dass sie vielleicht die Adaptation zerstörte. Daher wurde diese Lichtstärke, im Folgenden »Helligkeit γ« genannt, zwar nicht bei allen Reihen angewandt, aber in genügender Anzahl, um Beweise ihrer Wirkung zu liefern. Statt dieser Lichtintensität (»Helligkeit γ«) wurde dann in den anderen Reihen eine geringere Intensität hergestellt: durch Hinzufügung eines zweiten Londoner Rauchglases Nr. 4. Die Lichtstärke ist in den folgenden Tabellen als »Helligkeit α« bezeichnet; sie war, obwohl dunkler als »Helligkeit γ«, um einen geringen Grad stärker als in den zwei früheren Versuchsreihen (Tabelle I und II). Die Lampe wurde nicht bewegt, deshalb kam das Licht sowohl für indirectes wie für directes Sehen durch den centralen Spalt, d. h. in der Gesichtslinie zwischen dem Beobachter und der Lampe.

Zwei Oeffnungen dieses Spaltes wurden angewandt, eine, wie vorher, von 10 mm Seite und die andere von 5 mm Seite (oder einem Gesichtswinkel für directes Sehen von 32′ 48″ entsprechend). Diese letztere Oeffnung gab ein Bild auf der Netzhaut, das weniger groß als die Fovea war, wenn wir nach Helmholtz[1]) für deren Größe im Gesichtsfeld einen Gesichtswinkel von 40 bis 50 Minuten annehmen. Die Oeffnung von 10 mm Seite gibt ein Bild, welches überwiegend aufs Zapfengebiet fällt (s. S. 441) und gestattet das Vergleichen mit den früheren Versuchen, auch beseitigt sie den Einwand, dass die Oeffnung von 5 mm Seite beim indirecten Sehen zu klein sei, um die Farben richtig zu beurtheilen.

Für die Anordnung bei Helladaptation brauche ich nur zu bemerken, dass das Vorzimmer hell gemacht wurde, die Beobachtungen an Tagen, wo der Himmel leicht mit grauen Wolken bedeckt war,

1) Helmholtz, Handbuch der physiol. Optik, II. Aufl., S. 567.

Digitized by Google

stattfanden, die Apparate in den Zimmern umgetauscht wurden, und in diesen Reihen der Beobachter im Vorzimmer Platz nahm. In der Wand wurden Nägel befestigt, welche für den Beobachter Gesichtswinkel von 5° und 10° rechts bildeten und als Fixationspunkte dienten.

Die Versuchsmethode war folgende: Nach zwanzig Minuten Adaptation wurde diejenige Scheibe in Rotation versetzt, welche sicher unter der Schwelle der Farbe war, was bei jeder Versuchsperson in Vorversuchen bestimmt wurde.

Während jedes Versuchs war der Spaltdeckel ungefähr drei Secunden lang geöffnet. Dieser Zeitpunkt wurde durch Zählen »eins, zwei, drei« bestimmt. Ich fragte die Versuchsperson, ob sie fertig sei, sagte dann »fertig«, »jetzt« und öffnete den Spalt in einem Zeitpunkt nach der Antwort »jetzt«, welcher dem zwischen »fertig« und »jetzt« gleich war, so dass die Versuchsperson der Farbe, welche gezeigt wurde, scharfe Aufmerksamkeit schenkte, und die Kürze der Zeit verhinderte, dass ein Nachbild das Urtheil beeinflusste. Ferner entzog ich, indem ich nicht das weiße Licht der Lampe vor oder nach der Farbe zeigte, den Versuchspersonen eine Vergleichung der Farbe mit dem Lampenlicht.

Zunächst wurde je ein Sector von 10° hinzugefügt, bis eine Spur der Farbe sichtbar wurde. Diese Schwelle wurde in Graden notirt und der Versuch fortgesetzt, bis eine absolute Gewissheit über den Farbenton entstand. Der Grad dieses letzteren wurde als zweite Schwelle angenommen. Dann wurden die Schwellen der zwei übrigen Farben bestimmt, aber wegen des Einflusses des Contrastes war Sorge getragen, dass weder Roth nach Grün, noch Grün nach Roth, sondern Blau immer inzwischen dem Beobachter gezeigt wurde. Für die zwei Schwellen sind zwei Columnen angegeben: die eine für Sichtbarkeit und die andere für Deutlichkeit (in den Tabellen als RI, GI, BI für die erste, und als RII, GII, BII für die zweite bezeichnet). Die Versuche waren langdauernd und ermüdend; sie verlangten Pausen zwischen jedem Versuch, und daher konnten nur wenige in den dazu verwendeten Stunden ausgeführt werden; eine längere Dauer der Versuche hätte sehr durch Ermüdung der Versuchspersonen den Werth der Resultate vermindert.

Ein Controlversuch mit Mr. Franz wurde bei Dunkeladaptation für directes und indirectes Sehen angestellt, um die Farben in Bezug

Digitized by Google

auf ihre Helligkeit bei den zwei Lichtstärken wie auch bei den zwei Spaltöffnungen zu prüfen.

Diese Tabelle (IV) zeigt, dass im directen Sehen in sechzehn Fällen alle drei Farben als gleich hell beurtheilt wurden und achtmal Grün als gleich hell mit Blau, beide aber als etwas verschieden von Roth. Die Bedingungen der Anordnung *B* in dieser Tabelle lassen einen Vergleich mit den früheren Versuchen zu und stellen so einen Zusammenhang mit den folgenden Tabellen und Tabelle II her. Ferner zeigt Tabelle IV, dass im indirecten Sehen das Roth stets dunkler als Grün und Blau erschien.

Leider standen mir im zweiten Semester nicht alle dieselben Versuchspersonen zur Verfügung wie im ersten. Ich habe hier den folgenden Herren für ihre Hülfeleistungen zu danken: Dr. C. H. Judd (J.), Dr. F. Bon (B.), Dr. G. M. Stratton (S.), H. Eber (E.), V. Henri (H.) und E. M. Weyer (W.). Alle diese, wie die in den vorangegangenen Experimenten vermerkten Beobachter erwiesen sich als farbentüchtig und waren eingeübt, bevor ihre Resultate gebraucht wurden.

Der Durchschnitt der fünf letzten Einzelbestimmungen mit je einer Versuchsperson gibt die mittlere Schwelle (»ms« in den Tabellen, während »mv« die mittlere Variation anzeigt). Die Tabellen VI und XII gewähren eine Uebersicht über die mittleren Schwellen, während Tabelle XIII die Ergebnisse in der Vergleichung der Schwellenwerthe des Roth und Blau bei Dunkel- und Helladaptation vor Augen führt. Violett wurde im Centrum zuletzt als deutlich wahrgenommen, aber die Schwellen der Sichtbarkeit wurden doch immer für Blau im directen und indirecten Sehen genommen. Grün wurde im Centrum und 5° rechts als Grün gesehen, aber mit der »Helligkeit α«, und 10° und 25° rechts war es nicht von Blau unterscheidbar, oder es war ein unbestimmtes Blaugrün. Im Centrum war dies also anders wie bei König[1]), der Blau als Grün sah.

Vier Resultate in der ersten Columne der Tabelle VII bedürfen einer Erklärung: nach einigen Reihen von Versuchen fand ich, dass die kleinste rothe Scheibe doch nicht klein genug war, um das richtige Maß der Schwelle für Roth anzugeben. Bevor diese Resultate nach-

1) König und Dieterici, Die Grundempfindungen und ihre Intensitätsvertheilung im Spektrum. Sitzungsber. der Berliner Akademie 1886. 2. S. 590.

Digitized by Google

geprüft wurden, waren die Versuchspersonen, Dr. Bon und Henri, abgereist. Diese Resultate sind deshalb in Parenthesen eingeschlossen. 360 in Klammer gesetzt, bedeutet bei den folgenden Tabellen, dass dieses Resultat in allen fünf Einzelbestimmungen nicht sicher war; ein Strich bedeutet ferner, dass bei 360° noch keine Farbe als sicher erkannt wurde.

Tabelle IV.

Successiver Vergleich der Helligkeiten.
(Dunkeladaptation.)
Beobachter: Mr. S. J. Franz.

Helligkeit α *A* *B*

	Spalt 5 mm Seite			Spalt 10 mm Seite		
Tag	0°	5° R	10° R	0°	5° R	10° R
Juni 17.	R = G = B	B = G, R	B = G, R	G = B, R	B = G, R	B = G, R
18.	G = B, R	B, G, R	B, G, R	G = B, R	B = G, R	B, G, R
19.	G, B, R	B, G, R	B = G, R	G = B, R	B = G, R	B, G, R
20.	R = G = B	B = G, R	B = G, R	G = B, R	B = G, R	B = G, R

Helligkeit γ *C* *D*

Juni 17.	R = G = B	B = G, R	B = G, R	R = G = B	B = G, R	B = G, R
18.	R, G = B	B = G, R	B = G, R	R, G = B	B = G, R	B, G, R
19.	R, G, B	B = G, R	B, G, R	R = G = B	B = G, R	B, G, R
20.	R = G = B	B = G, R	B, G, R	R, G = B	B = G, R	B = G, R

Ordnung nach der Helligkeit. »=« Helligkeit nicht zu unterscheiden.

Tabelle V.

Anzahl der Einzelbestimmungen = 5. | Gesichtswinkel = 2° 11′ 12″.
Spaltöffnung = 10 mm Seite. | Dunkeladaptation.
Helligkeit α (dunkler).
0°.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
J.	170	8,0	248	9,6	310	24,0	342	9,6	308	17,6	354	3,2
S.	176	9,6	274	12,8	360	0,0	—	—	357	3,6	359	1,6
W.	158	3,2	258	3,2	258	10,4	306	16,8	292	9,6	343	10,4
E.	166	4,8	266	13,6	300	24,0	352	3,2	311	25,6	353	3,6

Digitized by Google

5°.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
J.	246	7,2	288	10,4	336	19,2	(360 = Gr. B)		308	14,4	360	6,4
S.	250	8,0	306	7,2	354	4,8	(360 = Gr. B)		349	3,6	355	6,0
W.	238	10,4	282	14,4	262	10,4	352	3,2	298	14,4	347	13,6
E.	232	20,0	306	23,2	304	30,8	354	6,4	312	25,6	353	3,6

10°.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
J.	320	8,0	350	0,0	(360 = Gr. B)		—	—	343	10,4	360	0,0
S.	320	16,0	356	3,2	»	»	—	—	350	0,0	360	0,0
W.	314	11,2	343	10,4	»	»	—	—	353	2,4	357	2,4
E.	296	6,4	334	6,4	351	3,6	(360 — 4 mal)		355	0,0	360	0,0
B.	312	14,4	351	8,8	(360 = Gr. B)		—	—	334	6,4	360	0,0

25°.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
J.	—	—	—	—	(360 = Gr. B)		—	—	360	0,0	—	—
S.	—	—	—	—	360	0,0	—	—	360	0,0	—	—
W.	360	0,0	—	—	360	0,0	—	—	360	0,0	—	—
E.	358	3,2	(360 — 2 mal)		(360 — 4 mal)		—	—	360	0,0	—	—
B.	(360 — 1 mal)		—	—	—	—	—	—	360	0,0	—	—

Digitized by Google

Tabelle VI.

Mittlere Schwellen (von Tabelle V).

Schwellen für Sichtbarkeit.

Dunkeladaptation. | Spaltöffnung 10 mm Seite.
Helligkeit α (dunklere). | Anzahl der Einzelbest. = 5.

	0°			5° R			10° R			25° R		
Beob.	R	G	B	R	G	B	R	G (B)	B	R	G (B)	B
J.	170	310	308	246	336	308	320	360	343	—	(360)	(360)
B.	(—	—	—	—	—	—*)	312	360	334	—	—	(360)
W.	158	258	292	238	262	298	314	360	353	360	360	360
S.	176	360	357	250	354	349	320	360	350	—	360	360
E.	166	300	311	232	304	312	296	357	355	358	360	360

Schwellen für Deutlichkeit.

	0°			5° R			10° R			25° R		
Beob.	R	G	B	R	G	B	R	G (B)	B	R	G (B)	B
J.	248	342	354	288	360 (B)	360	350	(360)	360	—	—	—
B.	(—	—	—	—	—	—*)	351	(360)	360	—	—	—
W.	258	306	343	282	352	347	343	(360)	357	(360)	—	—
S.	274	—	359	306	—	355	356	(360)	360	—	—	—
E.	266	352	353	306	354	353	334	360	360	(360)	—	—

*) Beobachter während dieser Versuche abwesend.

Tabelle VII. Im directen Sehen.

Spaltöffnung: 25 qmm. | Gesichtswinkel: 32′ 48″.
Anzahl der Einzelbest.: 5.

Helligkeit α (dunklere). Bei Dunkeladaptation.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Violett I		Violett II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
B.	(192)	9,6	276	17,6	274	7,2	328	3,2	306	9,6	331	1,6
J.	168	6,4	268	3,2	334	19,2	347	7,6	332	14,4	347	7,6
W.	156	6,4	278	9,6	326	10,4	349	1,6	342	7,6	356	4,8
H.	(192)	9,6	276	11,2	288	26,0	356	4,8	324	9,6	350	0,0
S.	174	10,4	292	9,6	351	7,2	359	1,6	344	9,6	357	3,6

Digitized by Google

Bei Dunkeladaptation.

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Violett I		Violett II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
B.	(192)	9,6	278	13,6	268	6,4	328	3,2	300	0,0	330	0,0
J.	202	3,2	280	16,0	300	16,0	334	6,4	304	12,8	332	7,2
W.	174	10,4	284	12,8	318	16,4	349	1,6	316	12,8	350	4,0
H.	(196)	6,4	296	12,8	304	20,8	346	6,4	304	6,4	346	6,4
S.	196	6,4	292	9,6	350	6,0	358	2,4	345	10,0	355	2,0

Bei Tageslicht.

Helligkeit α (dunklere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Violett I		Violett II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
B.	166	7,2	264	6,4	278	3,2	330	0,0	284	6,4	324	4,8
J.	184	12,8	276	12,8	332	33,6	356	4,8	312	32,8	350	8,0
W.	176	19,2	284	12,8	328	23,2	349	7,6	344	11,2	352	2,4
S.	172	14,4	284	12,8	356	4,8	360	0,0	352	3,2	360	0,0
E.	186	17,6	280	16,0	292	9,6	343	10,4	351	1,6	356	1,6

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Violett I		Violett II	
Beob.	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
B.	168	6,4	276	6,4	286	11,2	328	3,2	280	0,0	324	4,8
J.	202	14,4	284	12,8	308	26,4	347	6,8	320	16,0	346	6,4
W.	176	12,8	284	12,8	315	32,0	347	8,4	340	12,0	352	2,4
S.	184	12,8	294	10,8	353	3,2	357	2,4	357	2,4	358	2,4
E.	190	12,0	300	0,0	304	12,8	346	6,4	342	9,6	356	1,6

Digitized by Google

Tabelle VIII.

Im indirecten Sehen (10°). (Spalt 25 qmm.)

Bei dunkeladaptirtem Auge.

Helligkeit α (dunklere). Anzahl der Einzelnbest. = 5.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	336	4,8	360	0,0	342	3,4	(360 = Gr. Bl.)		352	3,2	360	0,0
J.	342	10,4	360	0,0	356	1,6	» » »		357	3,2	(360 = bläul.)	
W.	342	10,4	358	3,2	349	10,4	» » »		352	2,4	(zieml. deutl.)	
H.	346	11,2	360	0,0	348	3,2	» » »		352	3,2	(360 = bläul.)	
S.	349	7,6	359	1,6	360	0,0	» » »		357	3,2	(360 = bläul.)	
E.	302	11,2	340	15,0	360	0,0	(360 = 3mal)		356	1,6	359	1,6

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	334	4,8	360	0,0	346	7,8	(360 = Gr. Bl.)		351	1,6	359	1,6
J.	334	4,8	354	1,6	356	1,6	» » »		354	1,6	(360 = bläul.)	
W.	338	3,2	358	3,2	340	8,0	359	1,6	353	3,2	358	2,4
H.	344	4,8	360	0,0	348	9,6	(360 = Gr. Bl.)		346	6,4	360	0,0
S.	336	4,8	357	2,4	338	10,4	» » »		354	1,6	360	0,0
E.	306	9,6	338	9,6	350	8,0	358	3,2	355	0,0	358	2,4

Helligkeit α (dunklere). Bei Tageslicht.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	306	9,6	330	0,0	(330 — 360 = Nichts)		—	—	(350 — 360 = Nichts)		—	—
J.	326	10,4	342	10,4	—	—	—	—	(350 — 355 3mal)		(360 Licht od. Nichts)	
W.	286	11,2	312	14,4	(330 — 355 4mal)		(360 — 3mal)		(350 — 4mal bläulich		(355 — 4mal)	
S.	300	0,0	312	14,4	(350 — 60 1mal bläulich)		—	—	4mal 354	1,6	(360 — 4mal)	
E.	294	19,2	324	19,2	(4mal{328; 27,5)		(360 — 3mal)		351	1,6	356	1,6

Digitized by Google

Helligkeit γ (hellere). Bei Tageslicht.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	294	11,2	330	0,0	330	0,0	340	12,0	334	4,8	350	0,0
J.	318	14,4	338	9,6	352	2,4	358	3,2	351	8,8	357	3,6
W.	292	9,6	318	14,4	347	9,6	(360 — 4mal)		341	13,2	353	3,6
S.	300	0,0	336	7,2	352	3,0	(360 — 2mal)		356	3,2	358	2,4
E.	296	6,4	332	14,4	349	7,6	356	3,2	345	12,0	354	1,6

Tabelle IX.

Im indirecten Sehen (25°).

(Spalt 25 qmm.)

Bei dunkeladaptirtem Auge.

Helligkeit α (dunklere). Anzahl der Einzelbest. = 5.

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W.	(360)	0,0	—	—	(360 = Gr. B.)		—	—	360	0,0	—	—
H.	360	0,0	—	—	(360, 1mal Gr. B)		—	—	—	—	—	—
S.	—	—	—	—	(360, Gr. B.)		—	—	—	—	—	—
E.	(360 — 4mal		—	—	(360, 1mal)		—	—	2mal vielleicht		—	—

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	360	0,0	—	—	360	0,0	—	—	(360	0,0)	—	—
J.	360	0,0	(2mal zieml. deutl.)		—	—	—	—	360	0,0	—	—
W.	360	0,0	(5 » » »)		(360 — 4mal)		—	—	360	0,0	—	—
H.	360	0,0	(5 » » »)		—	—	—	—	360	0,0	—	—
S.	360	0,0	—	—	—	—	—	—	(360,	2mal)	—	—
E.	360	0,0	—	—	(360 4mal bläulich)		—	—	360	0,0	—	—

Digitized by Google

Bei Tageslicht.

Helligkeit α (dunklere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
J.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W.	(360 3mal)		—	—	(350 2mal)		—	—	(360 1mal)		—	—
S.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E.	(350 1mal)		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	—	—	—	—	—	—	—	—	360	0,0	—	—
J.	(360 1mal)		—	—	—	—	—	—	360	0,0	—	—
W.	(330 4mal)		(360 3mal)		(360 2mal)		—	—	(350 4mal)		—	—
S.	—	—	—	—	—	—	—	—	360	0,0	—	—
E.	(350 4mal)		(360 4mal)		—	—	—	—	359	1,6	(360 1mal)	

Tabelle X.

Bei Tageslicht.

Spaltöffnung 10 mm Seite.

10° Rechts.

Helligkeit α (dunklere). **Anzahl der Einzelbest. = 5.**

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	296	6,4	324	9,6	318	14,4	330	0,0	330	0,0	348	7,2
J.	312	14,4	330	0,0	348	10,4	358	3,2	357	3,6	359	1,6
W.	268	9,6	300	0,0	326	12,4	338	9,6	332	3,2	350	0,0
S.	294	7,2	322	17,6	344	11,2	(360 1mal)		342	9,6	354	1,6
E.	272	9,6	310	12,0	302	19,2	340	12,0	351	1,6	355	0,0

Digitized by Google

10° Rechts.

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	304	4,8	330	0,0	292	9,6	330	0,0	330	0,0	350	0,0
J.	312	14,4	334	6,4	334	6,4	343	10,4	334	6,4	353	3,6
W.	268	9,6	300	0,0	318	14,4	342	9,6	328	3,2	348	3,2
S.	298	7,2	332	6,4	334	6,2	356	3,2	338	9,6	354	1,6
E.	280	8,0	318	10,4	318	14,4	348	3,2	334	6,4	351	1,6

25° Rechts.

Helligkeit α (dunklere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	—	—	—	—	—	—	—	—	(330 2mal)		—	—
J.	(360	0,0)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W.	346	6,4	360	0,0	360	0,0	(360 1mal)		348	7,2	(360 4mal)	
S.	(360 bläulich	0,0)	—	—	(360 2mal)		—	—	(4mal: 343,75	13,75)	(360 3mal)	
E.	(4mal: 337,5	11,25)	357,5	3,75	(360 1mal)		—	—	(3mal: 344	5,33)	(360 3mal)	

Helligkeit γ (hellere).

	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
Beob.	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv	am	mv
B.	—	—	—	—	—	—	—	—	358	3,2	360	0,0
J.	357	3,6	(360 3mal)		—	—	—	—	358	3,2	(360 3mal)	
W.	330	0,0	360	0,0	342	10,4	(360 4mal)		334	6,4	360	0,0
S.	(360 2mal) gelblich (360 2mal) röthlich		—	—	(360 4mal)		—	—	338	9,6	358	2,4
E.	330	0,0	351	1,6	(360 4mal)		—	—	339	10,8	358	3,2

Digitized by Google

Tabelle XI.

Dunkeladaptation. | Helligkeit γ.
Spaltöffnung = 10 mm Seite. | Anzahl der Einzelbest. = 5.

10° Rechts.

Beob.	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
B.	322	9,6	350	0,0	342	10,4	357	2,4	330	0,0	353	2,4
J.	332	10,4	353	3,6	352	2,4	358	2,4	346	6,4	356	1,6
W.	310	12,0	330	0,0	334	6,4	350	0,0	354	1,6	355	0,0
S.	312	14,4	345	6,0	338	9,6	359	1,6	352	2,4	356	1,6
E.	296	6,4	334	6,4	350	4,0	360	0,0	355	0,0	355	0,0

25° Rechts.

Beob.	Roth I		Roth II		Grün I		Grün II		Blau I		Blau II	
	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv	ms	mv
B.	360	0,0	—	—	—	—	—	—	360	0,0	—	—
J.	360	0,0	ziemlich deutlich		(360	2mal)	—	—	360	0,0	—	—
W.	354	4,8	360	0,0	(360	4mal)	—	—	360	0,0	—	—
S.	355	0,0	360	0,0	—	—	—	—	358	3,2	—	—
E.	355	4,0	360	0,0	360	0,0	—	—	357	2,4	(360	3mal)

Tabelle XII. Mittlere Schwellen.

Helligkeit α (dunklere). | Spaltöffnung 5 mm Seite.
Anzahl der Einzelbest. = 5.

Dunkeladaptation. Schwellen für Sichtbarkeit.

Beobachter	0°			10° R			25° R		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Dr. F. Bon	(192)	274	306	336	342	352	—	—	—
Dr. C. H. Judd	168	334	332	342	356	357	—	—	—
E. M. Weyer	156	326	342	342	349	352	(360)	(360B)	360
V. Henri	(192)	288	324	346	348	352	360	—	—
Dr. G. M. Stratton	174	351	344	349	360	357	—	—	—

Digitized by Google

Schwellen für Deutlichkeit.

Dunkeladaptation.

	0°			10° R			25° R		
Beobachter	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Dr. F. Bon	276	328	331	360	(360=B)	360	—	—	—
Dr. C. H. Judd	268	347	347	360	»	(360)	—	—	—
E. M. Weyer	278	349	356	358	»	360	—	—	—
V. Henri	278	356	350	360	»	360	—	—	—
Dr. G. M. Stratton	292	359	357	359	»	(360)	—	—	—

Schwellen für Sichtbarkeit.

Helladaptation.

	0°			10° R			25° R		
Beobachter	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Dr. F. Bon	166	278	284	306	—	—	—	—	—
Dr. C. H. Judd	184	332	312	326	—	(350)	—	—	—
E. M. Weyer	176	328	344	286	(330—60)	(350)	(360)	(360B)	(360)
Dr. G. M. Stratton	172	356	352	300	—	(350)	—	—	—
H. Eber	186	292	351	294	(330—40)	351	—	—	—

Schwellen für Deutlichkeit.

Helladaptation.

	0°			10° R			25° R		
Beobachter	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Dr. F. Bon	264	330	324	330	—	—	—	—	—
Dr. C. H. Judd	276	356	350	342	—	—	—	—	—
E. M. Weyer	284	349	352	312	(360)	(355)	—	—	—
Dr. G. M. Stratton	284	360	360	312	—	(360)	—	—	—
H. Eber	280	343	356	324	(360)	356	—	—	—

Digitized by Google

Tabelle XIII.

Dr. F. Bon.

	Schwelle I				Schwelle II			
	Helligkeit α		Helligkeit γ		Helligkeit α		Helligkeit γ	
	R	B	R	B	R	B	R	B
0°	166	295	168	290	270	327,5	277	327
10°H	296	330	304	330	324	348	330	350
10°D	312	334	322	330	351	360	350	353
U. H	130	35	136	40	54	20,5	53	23
U. D	146	39	154	40	81	32,5	73	26
V.	16	4	18	0	27	12	20	3

Dr. C. H. Judd.

	Helligkeit α		Helligkeit γ		Helligkeit α		Helligkeit γ	
	R	B	R	B	R	B	R	B
0°	176	322	202	312	272	348,5	282	339
10°H	312	357	312	334	330	359	334	353
10°D	320	343	332	346	350	360	353	356
U. H	136	35	110	22	58	10,5	52	14
U. D	144	21	130	34	78	11,5	71	17
V.	8	— 14	20	12	20	1	19	3

Dr. G. M. Stratton.

	Helligkeit α		Helligkeit γ		Helligkeit α		Helligkeit γ	
	R	B	R	B	R	B	R	B
0°	173	348	190	351	288	358,5	293	356,5
10°H	294	342	298	338	322	354	332	354
10°D	320	350	312	352	356	360	345	356
U. H	121	— 6	108	— 13	34	— 4,5	39	— 2,5
U. D	147	2	122	1	68	1,5	52	— 0,5
V.	26	8	14	14	34	6	13	2

Digitized by Google

E. M. Weyer.

	Schwelle I				Schwelle II			
	Helligkeit α		Helligkeit γ		Helligkeit α		Helligkeit γ	
	R	B	R	B	R	B	R	B
0°	166	342	175	328	281	354	284	351
10°H	268	332	268	328	300	350	300	348
10°D	314	353	310	354	343	357	330	355
U. H	102	— 11	93	0	19	— 4	16	— 3
U. D	148	10	135	26	62	3	46	4
V.	46	21	42	26	43	7	30	7

H. Eber.

	Helligkeit α		Helligkeit γ		Helligkeit α		Helligkeit γ	
	R	B	R	B	R	B	R	B
0°	172	351	190	342	268	356	300	356
10°H	272	351	280	334	310	355	318	351
10°D	296	355	296	355	334	360	334	355
U. H	100	0	90	— 8	42	— 1	18	— 5
U. D	124	4	106	13	66	4	34	— 1
V.	24	4	16	21	24	5	16	4

Tabelle XIV.
Dunkeladaptation.

		Roth I	Grün I	Blau I
Direct	Spalt 10, Helligk. α	167,5	312	317
	» 5 » α	166	318,6	329,6
	» 5 » γ	190,6	308	313,8
10° Rechts	Spalt 10, Helligk. α	312,4	359,4	347
	» 10 » γ	314,4	343,2	347,4
	» 5 » α	343	351	354
	» 5 » γ	329,6	346,3	352,2

Digitized by Google

Helladaptation.

		Roth I	Grün I	Blau I
Direct	Spalt 5, Helligk. α	176,8	317,2	328,6
	» 5 » γ	187,3	313,2	327,8
10° Rechts	Spalt 10, Helligk. α	288,4	327,6	342,4
	» 10 » γ	292,4	319,2	332,4
	» 5 » α	302,4	—	(350)
	» 5 » γ	300	346	345,4

Aus diesen Resultaten ersieht man erstens, dass die Schwellenwerthe des Roth im directen Sehen und sogar bei 5° und 10° rechts kleiner sind als die des Blau. Bei directem Sehen wurde Roth in den Beobachtungen des Herrn Franz (Tabelle IV) entweder als gleich oder dunkler als Blau beurtheilt; daher liegt der Grund der niedrigeren Schwelle von Roth nicht in der größeren Helligkeit, sondern, wie Aubert betont hat, darin, dass »die rothe (und gelbe) Farbe bei geringerer Intensität den Farbensinn zu afficiren vermag, als die blaue Farbe«[1]). Im indirecten Sehen ist Roth stets dunkler bei diesem bei Dunkeladaptation angestellten Controlversuch, aber dies ist auch bei Helladaptation der Fall, wie sich auch von Kries[2]) selber durch das Experiment überzeugt hat. Daher sind die Bedingungen, was die relative Helligkeit betrifft, immer die gleichen. Bei directem Sehen stimmen die Werthe für Grün ziemlich mit denen für Blau überein; einige Ausnahmen bilden die kleineren Werthe für Grün I. Grün erschien bei dieser geringen Lichtstärke sogar als unbestimmtes Grünblau und bot daher Schwierigkeiten für die Aussagen. Schon bei 5° rechts sind die Schwellen für Roth erhöht; dagegen bleiben die für Grün und Blau nicht merklich verschieden, und in einigen Fällen sind sie sogar bei 10° niedriger. Dieses Resultat steht in Widerspruch mit demjenigen Charpentier's[3]) und Dobrowolsky's[4]), da

1) Aubert, Physiologie der Netzhaut, 1865, S. 128.
2) von Kries, a. a. O. I, S. 85, Anmerkung.
3) Charpentier, Archiv d'ophthalm., Mars-Avril 1886, S. 3.
4) Dobrowolsky, v. Gräefe's Arch. XXXII. 1. 1886.

Digitized by Google

der Erste im Centrum eine geringere Empfindlichkeit für alle Farben und der Letztere die größte Empfindlichkeit fand; auch, aber in Bezug auf Blau weniger abweichend, mit denjenigen A. E. Fick's[1]), der die größte Empfindlichkeit bei wenig excentrischer Blickrichtung angibt.

Bei 10° rechts ist Roth immer noch bevorzugt; aber bei Dunkeladaptation und mit kleinerer Spaltöffnung sind die Schwellenwerthe aller Farben ziemlich übereinstimmend. Bei 25° rechts und Dunkeladaptation schienen die Schwellen von Blau und Roth ungefähr gleich. Die Resultate bei Tageslicht bei 25° sind jedoch nicht befriedigend, da mehrere Male wegen des geringen Contrastes zwischen Wand und Spaltöffnung Scheiben von sogar 360° nicht gesehen werden konnten. Diese würden wahrscheinlich in einem Dunkelzimmer ohne adaptirtes Auge zu sehen sein; sobald man jedoch in das Dunkelzimmer kommt, fängt die Adaptation an, und in jenem Falle wäre der Grad der Adaptation ein unbestimmter Factor. Wie jetzt hervorzuheben ist, zeigen die Resultate von Tabelle VI und der ersten Hälfte von Tabelle XII dasselbe Ergebniss, aber auffallender als Tabelle II. Der Schwellenwerth des Blau im Centrum ist im Durchschnitt um 149,50° höher als der des Roth, während derselbe bei 10° nur 34,6° höher ist.

Die Hauptergebnisse dieser Versuche sind aus Tabelle XIII zu ersehen. Schwelle I bedeutet die Schwelle für Sichtbarkeit und Schwelle II die für Deutlichkeit. H bedeutet Hell- und D Dunkeladaptation. Bei directem Sehen, wie unten zu besprechen ist, sind Schwellenwerthe bei Hell- und Dunkeladaptation so übereinstimmend, dass der Durchschnitt der zwei Bestimmungen genommen wurde.

Die Bestimmungen für directes Sehen sind aus Tabelle VII, die für 10° aus den Tabellen V, X und XI herübergenommen. U. H bedeutet den Unterschied der Schwellenwerthe bei Helladaptation zwischen dem Centrum und 10°, U. D denselben bei Dunkeladaptation, und V. die Differenz dieser Unterschiede. Daher gibt V. eine Vergleichung der relativen Änderung des Roth und Blau vom Centrum her gegen die Peripherie bei Dunkel- sowohl wie bei Helladaptation an, und insoweit dürften diese Unterschiede den etwaigen

1) A. E. Fick, Studien über Licht- und Farbenempfindung, Pflüger's Archiv 43, S. 474.

Digitized by Google

Stäbchen- und Adaptationseffect vor Augen führen. Nehmen wir die Resultate Dr. Bon's als Beispiel. Die Schwellen des Blau bei Helladaptation sind um 35°, 40°, 20,5°, 23° (für die zwei Schwellen und die zwei Intensitäten) höher bei 10° als im Centrum, während die Schwellen von Roth um 130°, 136°, 54°, 53° höher sind: aber während diese Unterschiede zwischen Centrum und Peripherie in den Schwellen von Blau bei Dunkeladaptation um 4°, 0°, 12°, 3° höher sind als die Unterschiede bei Helladaptation, sind die gleichen Unterschiede in den Schwellen von Roth um 16°, 18°, 27°, 20° bezw. gestiegen.

Der größere Verlust von Roth ist daher bei Dr. Bon 12°, 18°, 15°, 17°; bei Dr. Judd ist dieser größere Verlust

von Roth	(—22°),	8°,	19°,	16°;
» Dr. Stratton	18°,	0°,	28°,	11°;
» Weyer	25°,	16°,	36°,	23°;
» Eber	20°,	(—5°),	19°,	12°.

Dabei finden aber drei Ausnahmen statt: die eine bei Dr. Judd (—22°), die zweite bei Eber (—5°) und die dritte bei Dr. Stratton. Bei Dr. Judd ist z. B. die mittlere Variation in einem Falle (322° der Tabelle) am größten von allen, nämlich 32,8°, und der Fall ist so unregelmäßig, dass er wohl als ein Fehler zu betrachten ist. Bei Dr. Stratton ist der Unterschied einmal Null, und bei Eber ist der Verlust an Blau einmal 5° größer als der des Roth. Bei diesen Beobachtern und auch in drei Fällen bei Weyer zeigt sich eine größere Empfindlichkeit für Blau bei 10° rechts als im directen Sehen, und diese Ausnahmen stehen mit den erwähnten in Verbindung. Andere unbedeutende Schwankungen kamen, wie man erwarten konnte, vor; nichts desto weniger ist eine Gesetzmäßigkeit bei dem größeren Verlust des Roth sicher vorhanden. Man sieht also aus den Resultaten: erstens, dass im Uebergang vom Centrum zur Peripherie die Schwellenwerthe von Roth mehr erhöht werden als die des Blau, mit andern Worten, dass die Empfindlichkeit zu Gunsten des Blau verändert ist. Zweitens, dass bei 10° rechts beide Farben bei Dunkeladaptation verloren haben, aber Blau viel weniger als Roth. Wie im Anfang hervorgehoben ist, müssten die Schwellenwerthe von Blau bei 10° und Dunkeladaptation verhältnissmäßig höher sein als die des Roth; aber gerade das Gegentheil zeigen die Ergebnisse dieses Versuches. Demgemäß wird darin schwerlich

Digitized by Google

ein besonderer Stäbchen- und Adaptationseffect gefunden werden können.

Zur Besprechung der Tabellen fehlen noch zwei Punkte: erstens, die etwaigen Unterschiede bei den zwei Lichtstärken und bei den zwei Spaltöffnungen; zweitens der besondere Einfluss der Adaptation. Zum besseren Vergleich ist ein Durchschnitt der Resultate der »Sichtbarkeits«-Columnen in Tabelle XIV aufgeführt.

Im directen Sehen begünstigte die größere Spaltöffnung das Roth nicht, aber die größere Intensität machte Roth gelblicher, und vergrößerte die Schwelle um ein kleines, und dies war der Fall bei Dunkel- und Helladaptation. Bei Grün und Blau war die größere Spaltöffnung günstig, aber noch günstiger größere Intensität. Bei Helladaptation — vielleicht war das veränderliche Tageslicht Schuld daran — begünstigte die größere Intensität das Grün und Blau kaum nennenswerth.

Bei 10° Rechts. Bei Dunkeladaptation ist Roth durch die größere Spaltöffnung begünstigt; bei der größeren Spaltöffnung machte die Intensität keinen Unterschied, und bei der kleinen war der Unterschied zu Gunsten der größeren Intensität — letzteres gerade im Gegensatz zu den Unterschieden im Centrum. Bei Helladaptation begünstigt die größere Spaltöffnung das Roth nicht so viel wie bei Dunkeladaptation, und die verschiedenen Intensitäten machen keinen bedeutenden Unterschied. Grün und Blau zeigen mehr Verminderung der Schwellen als Roth, sowohl bei größerer Spaltöffnung, wie auch bei größerer Intensität. Grün macht allein eine Ausnahme, indem bei der kleineren Spaltöffnung die Schwellen um 8,4° kleiner sind, als bei der größeren Spaltöffnung.

Bei 25° Rechts. Die Tabellen VI, IX, XI und XII stellen die bei Hell- wie bei Dunkeladaptation sich bestätigende Thatsache dar, dass alle Schwellen bei größerer Spaltöffnung und größerer Intensität vermindert wurden, und dass dies mehr bei Grün und Blau eintrat als bei Roth, besonders bei der größeren Spaltöffnung.

Um die Thatsachen bei Grün und Blau zusammenzufassen, können wir demnach sagen, dass bei Dunkel- und Helladaptation und im directen und indirecten Sehen die größere Spaltöffnung und die größere Intensität die Schwellen dieser Farben verringerten. In Bezug auf Roth müssen wir zwischen directem und indirectem Sehen

Digitized by Google

unterscheiden. Im directen Sehen stimmen Roth und Grün und Blau überein, aber die Schwellen des Roth sind bei der größeren Spaltöffnung nicht um so vieles verringert. Im directen Sehen steht Roth im Gegensatze zu Grün. Auch waren im allgemeinen das größere Gesichtsfeld und die größere Lichtstärke günstiger für die Wahrnehmung des Grün und Blau, als für die des Roth. Doch bezieht sich auch dies vielleicht wieder auf die größere Reizbarkeit für Roth. Was den Einfluss der Dunkeladaptation betrifft, so ist, wenn wir berücksichtigen, dass die Sectoren nur jedes Mal um 10^0 vergrößert wurden und das Tageslicht mehr oder weniger schwankte, die Uebereinstimmung im directen Sehen sicherlich sehr auffallend. Die Einzelbestimmungen der verschiedenen Versuchspersonen, eine nach der anderen, müssen in Tabelle VII durchgegangen werden, um zu ersehen, wie wenig sie variiren. Dass eine Adaptation im Centrum stattgefunden hatte, ist durch wiederholte Versuche bewiesen worden, da sich zeigte, dass erst, nachdem die Versuchsperson 3—4 Minuten durch das Rohr gesehen hatte, eine Farbe bemerkbar wurde. Die geringe Intensität des Lichtes verhindert die Zerstörung der Adaptation; aber dass eine solche vollständige Uebereinstimmung zwischen der Wahrnehmung bei Dunkel- wie bei Helladaptation stattfand, konnte nicht erwartet werden. Diese Resultate sind also eine Bestätigung der Beobachtungen von C. Ladd-Franklin[1]), von Parinaud[2]) und von Koster[3]), dass das dunkeladaptirte Auge die Farben im Centrum in genau demselben Verhältniss wie das helladaptirte Auge sieht. Auch Salomons[4]) bestätigt die Unabhängigkeit von der Lichtintensität bei der Farbenwahrnehmung. Ferner ist in dieser Beziehung zu erwähnen, dass neuerdings Treitel[5]) die Behauptung aufgestellt hat, dass eine langsamere Adaptation in der Fovea centralis bei Abnahme der absoluten Helligkeit die alleinige Ursache des feineren Lichtsinns der Peripherie sei. Auch Erdmann[6]) hat dies angedeutet. Doch ist hier zu betonen, dass meine

1) Ladd-Franklin, Psychological Review, March 1896, S. 231.

2) Parinaud, a. a. O. Rev. Scient. IV, 3. 1895. 1. S. 713.

3) Koster, a. a. O., S. 19.

4) Salomons, The Saturation of Colors (Psychological Review, Jan. 1896. S. 51).

5) Ueber den Lichtsinn der Netzhautperipherie. Arch. f. Ophthalm. 35. 1. S. 71.

6) Centralblatt für prakt. Augenheilk. April-Mai 1884, S. 120.

Digitized by Google

Ergebnisse nicht für einen Mangel an Adaptation, wie ihn von Kries behauptet[1]), sprechen, sondern für eine vollkommene Adaptation, d. h. dass in diesem Falle im Centrum die Schwellenwerthe der Farben denjenigen bei Helladaptation wiederum entsprechen.

Die Unterschiede im directen Sehen sind durch die Verminderung der Schwellenwerthe von Roth bei Helladaptation ausgezeichnet. Diese Verminderung ist geringer für Grün, und sie ist für Blau sehr klein. Es wäre vielleicht möglich, dass bei längerer Adaptation oder bei anderen Versuchsanordnungen die Unterschiede noch mehr sich hätten ausgleichen können.

Die Resultate der obigen Versuche lassen sich hiernach in folgende Sätze zusammenfassen.

1) Das Purkinje'sche Phänomen wird im Centrum unter denselben Bedingungen wie in der Peripherie gesehen.

2) Das Farbloswerden im indirecten sowohl wie im directen Sehen kann nicht auf einen Stäbcheneffect bezogen werden.

3) Die Wahrnehmbarkeit des Roth im Centrum ist größer als die des Blau, und gegen die Peripherie fallen die Schwellenwerthe näher zusammen; dem entsprechend begünstigen größere Intensität und größeres Gesichtsfeld eher Blau und Grün als Roth im Centrum, aber sowohl Roth als Blau und Grün in der Peripherie.

4) Die Farbenschwellen bei 20 Minuten Adaptation und indirectem Sehen sind etwas erhöht, aber der Verlust des Roth ist größer als der des Grün und Blau.

5) Es gibt eine Adaptation für Farben im Centrum, die darauf gerichtet ist, die Wahrnehmung bei Dunkeladaptation in gleichem Maße wie bei Helladaptation zu erzielen; ebenso wahrscheinlich eine annähernd gleiche Adaptationsfähigkeit in der Peripherie. Jedenfalls aber ändert die Dunkeladaptation das relative Verhältniss des Roth und Blau, welches für Helladaptation gilt, nicht.

Aus seinen späteren Veröffentlichungen ist zu ersehen, dass von Kries kein Gewicht mehr auf das Fehlen des Purkinje'schen Phänomens[2]) und des Farbloswerdens[3]) im Centrum legt, und dass er mit A. E. Fick geneigt ist, zu glauben, dass der centrale Zapfen-

1) von Kries, a. a. O. II, S. 112.
2) Ebenda, S. 107.
3) Ebenda, S. 115.

Digitized by Google